

**Evaluasi lubang kavitasi  
pada turbin air, pompa penyimpanan dan turbin  
pompa**









SNI 1706-1989-C

SLI 043 - 1986

a. 028

# **STANDAR LISTRIK INDONESIA**

## **Evaluasi Lubangan Kavitasi Pada Turbin Air, Pompa Penyimpanan Dan Turbin Pompa**

**DEPARTEMEN PERTAMBANGAN DAN ENERGI  
DIREKTORAT JENDERAL LISTRIK DAN ENERGI BARU  
J A K A R T A**



## KATA PENGANTAR

Standar Listrik Indonesia (SLI) Nomor SLI 043 – 1986  
a. 028 yang berjudul "Garansi terhadap Lubangan Kavitasi pada Turbin Air" dimaksud untuk dipakai oleh semua pihak terutama oleh konsumen dan pabrikan.

Sesuai dengan kebijaksanaan Pemerintah di bidang standardisasi ketenagalistrikan menetapkan Publikasi IEC merupakan sumber utama referensi.

Standar ini disusun oleh Panitia Teknik Air yang dibentuk berdasarkan surat Keputusan Direktur Jenderal Listrik dan Energi Baru No. 036-12/40/600.1/1986 tanggal 17 Nopember 1986.

Penyusunan standar ini melalui tahap rapat Kelompok Kerja dan rapat Pleno Panitia Teknik, kemudian dibahas dalam Forum Musyawarah Ketenagalistrikan yang diselenggarakan pada tanggal 26 s/d 30 Januari 1987 di Jakarta.

Pemerintah Cq. Direktorat Jenderal Listrik dan Energi Baru memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada konsumen standar ini untuk memberikan bahan masukan baru yang tentunya akan sangat membantu dalam proses "Up dating Standar" dan yang akan selalu dilakukan secara berkala untuk disesuaikan dengan perkembangan teknologi terakhir.

Semoga buku standar ini dapat bermanfaat bagi para pemakai sebagai pelengkap perangkat lunak (software) dalam menunjang pembangunan negara kita ini.

Jakarta, April 1987  
DIREKTUR JENDERAL LISTRIK  
DAN ENERGI BARU

ttd

Prof. Dr. A. Arismunandar  
NIP. 110008554





## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
1 UMUM.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Lingkup dan Tujuan.....	3
1.3 Pengecualian dan Batasan .....	3
2 ISTILAH, LAMBANG DAN DEFINISI.....	4
2.1 Sistem Pengukuran.....	4
2.2 Daftar Istilah.....	4
3 SIFAT DAN LINGKUP GARANSI LUBANGAN KAVITASI.....	8
3.1 Masa Garansi.....	8
3.2 Definisi Besaran Lubangan Kavitasi .....	8
3.3 Rentang Operasi dan Jangka Waktu Operasi.....	9
4 PROSEDUR UJI .....	10
4.1 Perbaikan Lubangan Kavitasi Sebelum Waktunya.....	10
4.2 Pengukuran dan Perhitungan Besaran Lubangan Kavitasi.....	10
5 HASIL PERHITUNGAN .....	13
5.1 Pemenuhan Garansi.....	13
 APENDIKS A - Contoh Besaran Lubangan Kavitasi.....	 14
 DAFTAR ISTILAH.....	 16

SALINAN : KEPUTUSAN MENTERI PERTAMBANGAN DAN ENERGI  
Nomor : 0376 K/098/M.PE/1987



# 1 UMUM

## 1.1 Pendahuluan

Garansi terhadap lubang kavitasi pada turbin air, pompa penyimpanan dan turbin-pompa sangat berbeda dari garansi-garansi lain yang dinyatakan dalam kontrak untuk menunjukkan karakteristik mesin, seperti halnya efisiensi. Besaran lubang kavitasi pada dasarnya tergantung dari 4 faktor:

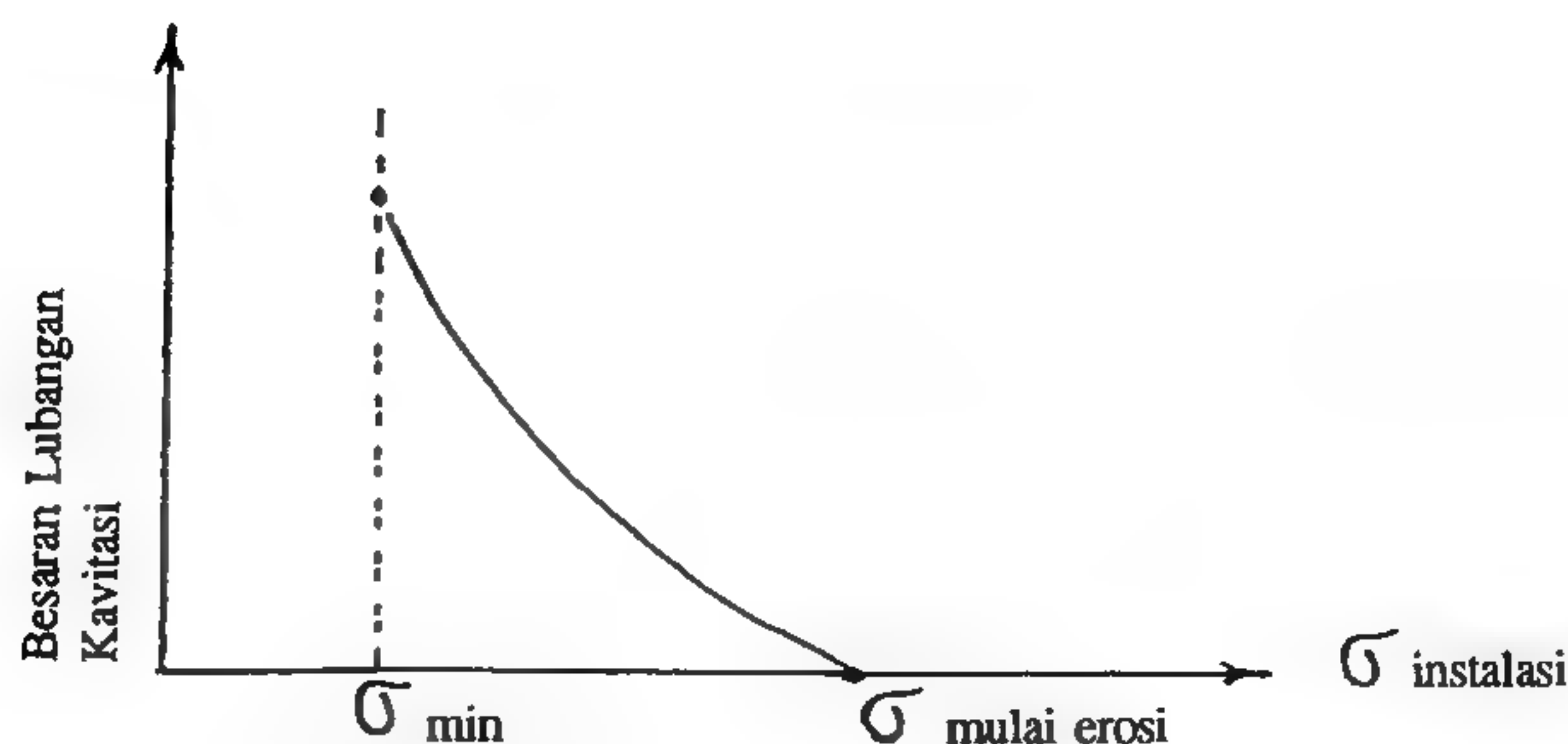
- Jenis dan rancang-bangun mesin;
- Jenis bahan dan kondisi permukaan dari bagian-bagian yang terkena kavitasi;
- Penempatan mesin dalam instalasi yaitu nilai  $\sigma$  dari instalasi;
- Lama operasi dan kondisi pengoperasian.

Faktor a) dan b) berkaitan dengan mesinnya sedangkan faktor c) dan d) tergantung pada rancang-bangun dari instalasi dan pada pengoperasiannya. Karena itu garansi untuk lubang kavitasi dapat dibuat hanya dengan persetujuan bersama antara pemakai dan pemasok selama perencanaan instalasi atau selama pembicaraan tentang kontrak.

Negosiasi garansi tersebut dapat dilakukan dengan dua cara yaitu:

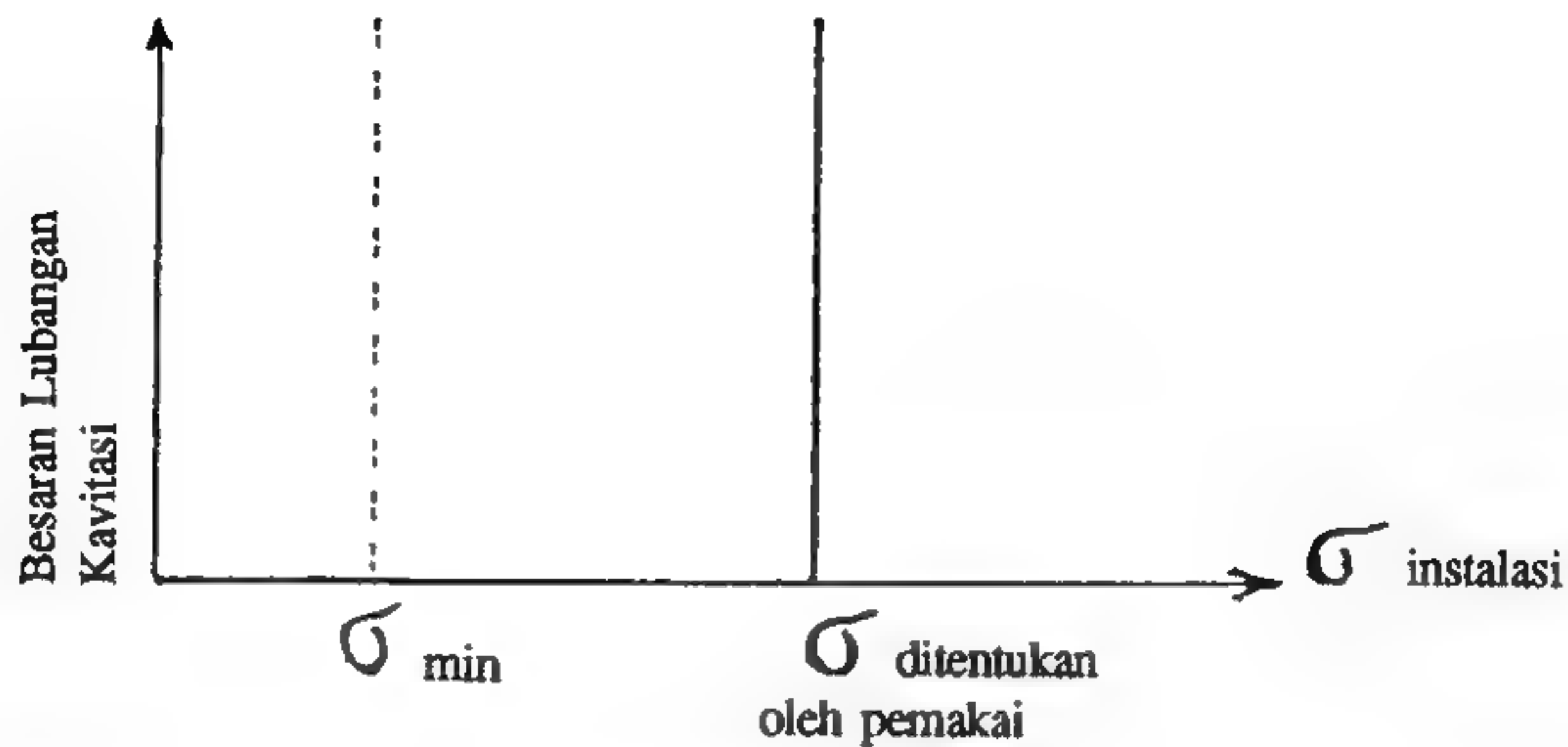
dengan menentukan penempatan mesin, (karena itu nilai  $\sigma$  instalasi telah tertentu), maka jumlah lubang kavitasi harus disetujui bersama dengan persesuaian terhadap ukuran turbin/pompa, kecepatan putar, bahan, kondisi permukaan, operasi dan sebagainya (lihat gambar 1a dan 1b hal. 2); atau besaran lubang kavitasi ditentukan, maka penempatan mesin harus disetujui bersama (lihat gambar 1a dan 1c halaman 2).

Dalam beberapa hal mesin-mesin dapat dioperasikan secara normal tanpa kavitasi (misalnya turbin Pelton dalam instalasi dengan variasi tinggi hidrolik yang kecil, turbin dengan poros horizontal dari instalasi pompa penyimpanan dan sebagainya), atau dapat disyaratkan untuk beroperasi tanpa kavitasi, tetapi umumnya lebih ekonomis untuk menerima terjadinya sejumlah kecil lubang kavitasi, yang berarti menggunakan penempatan yang lebih tinggi daripada yang diperlukan untuk operasi mesin tanpa lubang kavitasi.

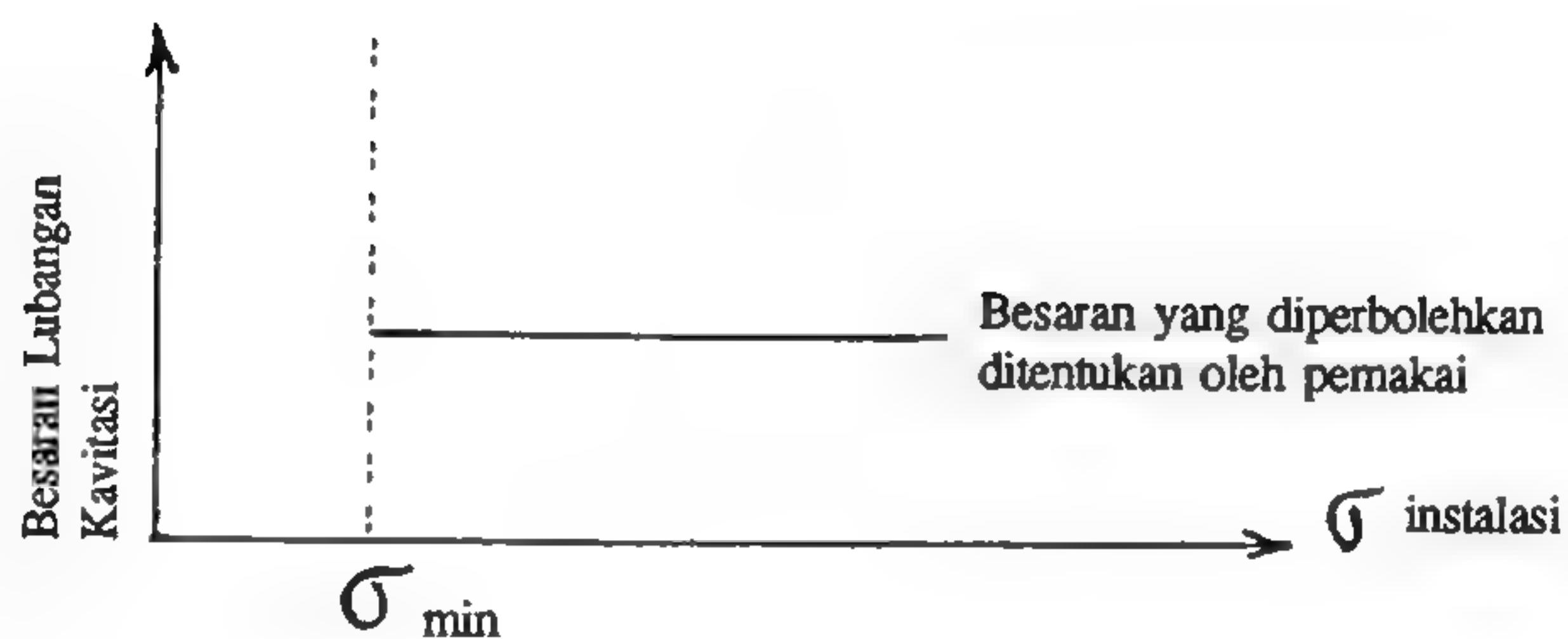


Gambar 1a





Gambar 1b



Gambar 1c

Dimana  $\sigma_{\min}$  adalah batasan  $\sigma$  yang disebabkan oleh efek-efek lain dari lubang kavitasi seperti getaran yang tidak dapat diterima.

**Gambar 1.** Besaran lubang kavitasi sebagai fungsi dari  $\sigma$  instalasi untuk mesin tertentu pada pengeluaran konstan.

Tidaklah mungkin membuat rekomendasi umum kepada pemakai mengenai besaran lubang kavitasi yang dapat diterima; masalah ekonomi harus dipelajari dan ditentukan untuk setiap kasus. Sebagai contoh, suatu besaran lubang kavitasi yang lebih kecil akan memerlukan nilai  $\sigma$  yang lebih besar pada suatu instalasi, dengan perkataan lain penempatan mesin hidrolik yang lebih dalam dan karena itu mengakibatkan biaya pekerjaan sipil menjadi besaran. Di samping itu dapat





mengurangi biaya dan atau berkurangnya frekwensi perbaikan, juga kerugian biaya karena kehilangan produksi energi selama unit tidak beroperasi. Besaran lubang kavitasi yang dapat diterima juga dipengaruhi oleh kemungkinan perbaikan di tempat tanpa membongkar mesin, misalnya adanya kemungkinan pengelasan bebas retak, dengan kemungkinan penerapan perlakuan panas yang diperlukan dan sebagainya.

Contoh-contoh besaran lubang kavitasi dinyatakan sebagai kedalaman, luas dan volume (lihat ayat. 5.22 sampai 5.24 dan 5.32) sebagai fungsi diameter  $D$  diberikan pada apendiks A.

## 1.2 Lingkup dan Tujuan

Standar ini digunakan sebagai dasar bagi perumusan garansi yang berlaku bagi lubang kavitasi pada turbin air, pompa penyimpanan dan turbin-pompa, serta untuk pengukuran dan evaluasi besaran lubang kavitasi dari suatu jenis komponen tertentu suatu mesin, yang telah ditetapkan dalam kontrak yang dinyatakan dalam keluaran, tinggi hidrolik, kecepatan, bahan, operasi dan sebagainya. Evaluasi didasarkan pada hilangnya bahan selama waktu tertentu dan pada kondisi operasi yang ditetapkan secara teliti.

Kontrak harus menyatakan apakah lubang kavitasi pada mesin hidrolik perlu atau tidaknya di-antisipasi pada seluruh atau beberapa rentang operasi.

Garansi yang membatasi besaran lubang kavitasi pada mesin hidrolik pada akhir masa operasi yang ditentukan dalam kontrak adalah sangat perlu, bilamana terjadinya lubang kavitasi pada mesin untuk rentang operasi yang ditentukan telah disepakati oleh kedua pihak, pembeli dan pemasok.

## 1.3 Pengecualian dan Batasan

Akibat lain yang mungkin ditimbulkan oleh kavitasi pada karakteristik dari operasi mesin, seperti: keluaran, efisiensi, getaran dan kebisingan tidak tercakup dalam standar ini.

Dalam standar ini air secara kimiawi dianggap tidak agresif sampai tingkat tertentu dan harus bebas dari benda padat yang abrasif.

Walaupun demikian, sebaiknya garansi kavitasi harus diberikan atas dasar analisis air yang telah disepakati. Apabila pada analisis selanjutnya air ternyata agresif dari apa yang telah disepakati pada analisis sebelumnya, maka hal tersebut harus dipertimbangkan pada waktu menilai apakah garansi yang ditetapkan telah dipenuhi.

Abrasi akibat terkontaminasinya air oleh benda padat (misalnya pasir) tidak dapat dipertimbangkan sebagai lubang kavitasi. Kandungan benda padat dalam air harus dinyatakan dalam analisis air dan jika cukup besar, maka akan dibuat suatu perjanjian khusus.

Jika lubang kavitasi terjadi di daerah di mana kerusakan dapat dikategorikan sebagai akibat korosi kimia atau elektro-kimia yang tidak normal, abrasi atau tumbukan, kerusakan seperti itu tidak tercakup dalam evaluasi kavitasi.

Jika lubang kavitasi terjadi di daerah di mana kerusakan nampak meningkat akibat kimia atau elektro-kimia di atas kavitasi normal di dalam air dengan analisis yang telah disepakati maka daerah-daerah seperti itu tidak tercakup dalam evaluasi kavitasi.

Kerusakan bahan yang ditunjukkan oleh keausan pada permukaan mesin selama operasi, tidaklah tercakup dalam garansi terhadap lubang kavitasi.





## 2 ISTILAH, LAMBANG DAN DEFINISI

### 2.1 Sistem Pengukuran

Sistem Satuan Internasional (SI) dipakai dalam seluruh standar ini tetapi sistem lain pun dapat dipergunakan.

### 2.2 Daftar Istilah

Istilah, lambang dan definisi yang dipakai dalam standar ini adalah sebagai berikut:

2.2.1	Kavitasi	Gelembung-gelembung uap yang terbentuk ketika besarnya tekanan lokal menurun sampai kira-kira sebesar tekanan uap jenuh dan yang pecah ketika besarnya tekanan setempat naik lebih tinggi dari tekanan uap jenuh tersebut.
2.2.2	Lubangan Kavitasi kavitasi	Hilangnya bahan yang disebabkan kavitasi.
2.2.3		Faktor kavitasi (koefisien Thoma) yang memberikan ciri penempatan mesin hidrolik yang diacu terhadap muka air bawah atau muka air sisi isap (lihat publikasi IEC 193A, suplemen pertama publikasi IEC 193, kode internasional untuk Uji Terima Model Turbin Air, sub ayat 5.1.1 dan publikasi IEC 497, kode internasional untuk Uji Terima Model Pompa Penyimpanan, sub ayat 57.1.1).
2.2.4	Masa garansi Kavitasi	Jumlah bulan atau tahun masa pelayanan mesin dalam waktu mana garansi lubang kavitasi berlaku.
2.2.5	Jangka waktu operasi garansi kavitasi	Jumlah jam operasi mesin selama garansi lubang kavitasi berlaku.
2.2.6	Referensi untuk jangka waktu operasi $t_R$ (jam)	Jumlah jam operasi mesin yang sesungguhnya yang digunakan sebagai suatu nilai acuan untuk membuat garansi lubang kavitasi.
2.2.7	Jangka waktu operasi sesungguhnya $t_A$ (jam)	Jumlah jam operasi mesin sesungguhnya pada waktu pemeriksaan lubang kavitasi.
2.2.8	PCL	Batas bawah daya turbin untuk operasi kontinyu normal yang ditentukan untuk setiap tinggi hidrolik dan muka air bawah yang diizinkan (Gb. 2 hal. 9).
2.2.9	Pcu	Batas atas daya turbin untuk operasi kontinyu normal yang ditentukan untuk tiap tinggi hidrolik dan muka air bawah yang diizinkan (Gb. 2 hal. 9).



2.2.10	P <sub>TL</sub>	Batas bawah daya turbin untuk operasi tidak normal sesaat yang ditentukan untuk setiap tinggi hidrolik dan muka air bawah yang diizinkan (Gb. 2 hal. 9).
2.2.11	P <sub>TU</sub>	Batas atas daya turbin untuk operasi tidak normal sesaat yang ditentukan untuk setiap tinggi hidrolik dan muka air bawah yang diizinkan (Gb. 2 hal. 9).
2.2.12	H <sub>CL</sub>	Batas bawah tinggi hidrolik pompa untuk operasi normal yang kontinyu yang ditentukan untuk setiap muka air sisi isap yang diizinkan (Gb. 3 hal. 9).
2.2.13	H	Batas atas tinggi hidrolik pompa untuk operasi normal yang kontinyu ditentukan untuk setiap muka air sisi isap yang diizinkan (Gb. 3 hal. 9).
2.2.14	H <sub>TL</sub>	Batas bawah tinggi hidrolik pompa untuk operasi tidak normal sesaat yang ditentukan untuk tiap-tiap muka air sisi isap yang diizinkan (Gb. 3 hal. 9).
2.2.15	Q <sub>TL</sub>	Batas bawah debit pompa untuk operasi tidak normal sesaat yang ditentukan untuk setiap muka air sisi isap yang diizinkan (Gb. 3 hal. 9).
2.2.16	Z <sub>L</sub>	Muka air bawah yang diizinkan (Gb. 2 hal. 9) atau muka air sisi isap terendah yang diizinkan (Gb. 3 hal. 9).
2.2.17	Rentang operasi normal yang kontinyu	Dibatasi a) untuk turbin opel P dan P (Gb. 2 hal. 9);
2.2.18	Rentang operasi tidak normal sesaat pada beban turbin yang tinggi	Dibatasi oleh P <sub>CU</sub> dan P <sub>TU</sub> (Gb. 2 hal. 9)
2.2.19	Rentang operasi tidak normal sesaat pada beban turbin yang rendah	Dibatasi oleh P <sub>CL</sub> dan P <sub>TL</sub> (Gb. 2 hal. 9)
2.2.20	Rentang operasi tidak normal sesaat pada tinggi hidrolik pompa yang rendah	Dibatasi oleh H <sub>CL</sub> dan P <sub>TL</sub> (Gb. 3 hal. 9)
2.2.21	Rentang operasi tidak normal sesaat pada tinggi hidrolik pompa yang tinggi	Dibatasi oleh H <sub>CL</sub> dan Q <sub>CL</sub> (Gb. 3 hal. 9)

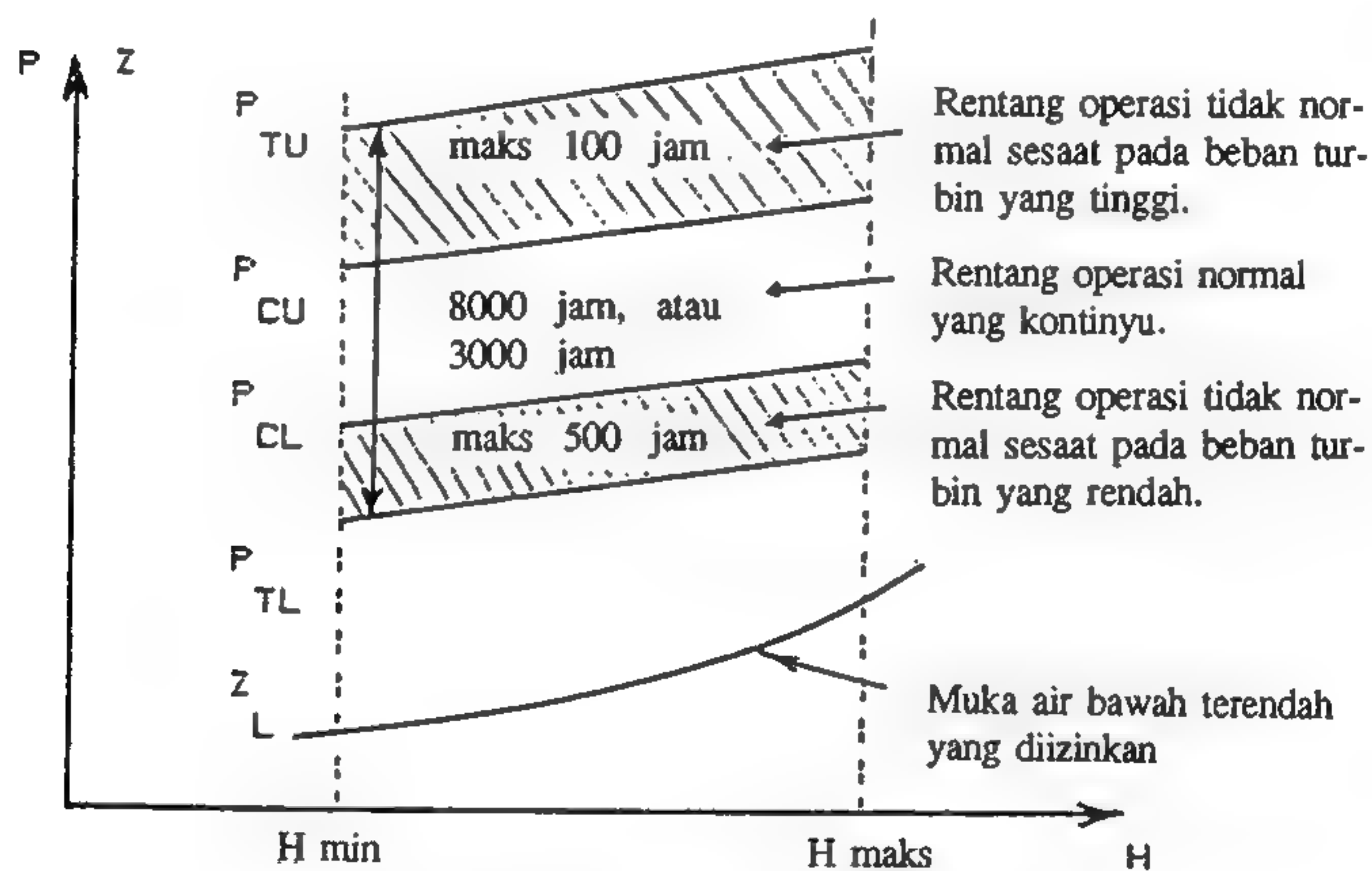


2.2.22.1	S (cm)	Kedalaman maksimum mutlak dari setiap daerah yang berlubang yang diukur dari permukaan asli.
2.2.22.2	S1, S2, S3, dst.	Kedalaman maksimum mutlak dari daerah berlubang tertentu yang diukur dari permukaan asli.
2.2.23.1	A (cm <sup>2</sup> )	Luas daerah yang rusak oleh lubang kavitasi yang ditentukan: a) seluruh daerah yang rusak karena lubang kavitasi yang memerlukan perbaikan (termasuk daerah yang hanya memerlukan penggerindaan) atau, b) hanya untuk daerah di mana kedalaman yang disetujui bersama telah dilampaui atau, c) hanya untuk daerah yang memerlukan perbaikan dengan pengelasan.
2.2.23.2	A1, A2, A3, dst. (cm)	Masing-masing daerah yang rusak karena lubang kavitasi sebagaimana ditentukan di atas.
2.2.24	V (cm <sup>3</sup> )	Volume bahan yang hilang oleh lubang kavitasi.
2.2.25	k, k1, k2, k3, dst.	Koefisien yang digunakan untuk perhitungan pendekatan dari volume sebagai dinyatakan pada sub ayat 10.3.2.
2.2.26	m <sub>E1</sub>	Massa dari bahan elektroda pengelasan yang diperlukan untuk perbaikan kerusakan lubang kavitasi dengan koreksi yang sesuai sebagaimana dinyatakan pada sub ayat 10.3.3 huruf a dan b.
2.2.27	E1	Kerapatan bahan elektroda yang diperlukan untuk perbaikan kerusakan lubang kavitasi.
2.2.28	tw (jam)	Jam kerja yang diperlukan untuk menyiapkan bagian yang rusak, untuk diperbaiki, pemanasan awal, pengelasan, dan pengerjaan akhir, tetapi tidak termasuk waktu yang diperlukan untuk dapat mencapai daerah yang rusak (untuk pembongkaran mesin), untuk memasang perancah bantu, memeriksa daerah yang diperbaiki oleh si pemakai peralatan yang direparasi, memasang mesin kembali dan mengoperasikannya.





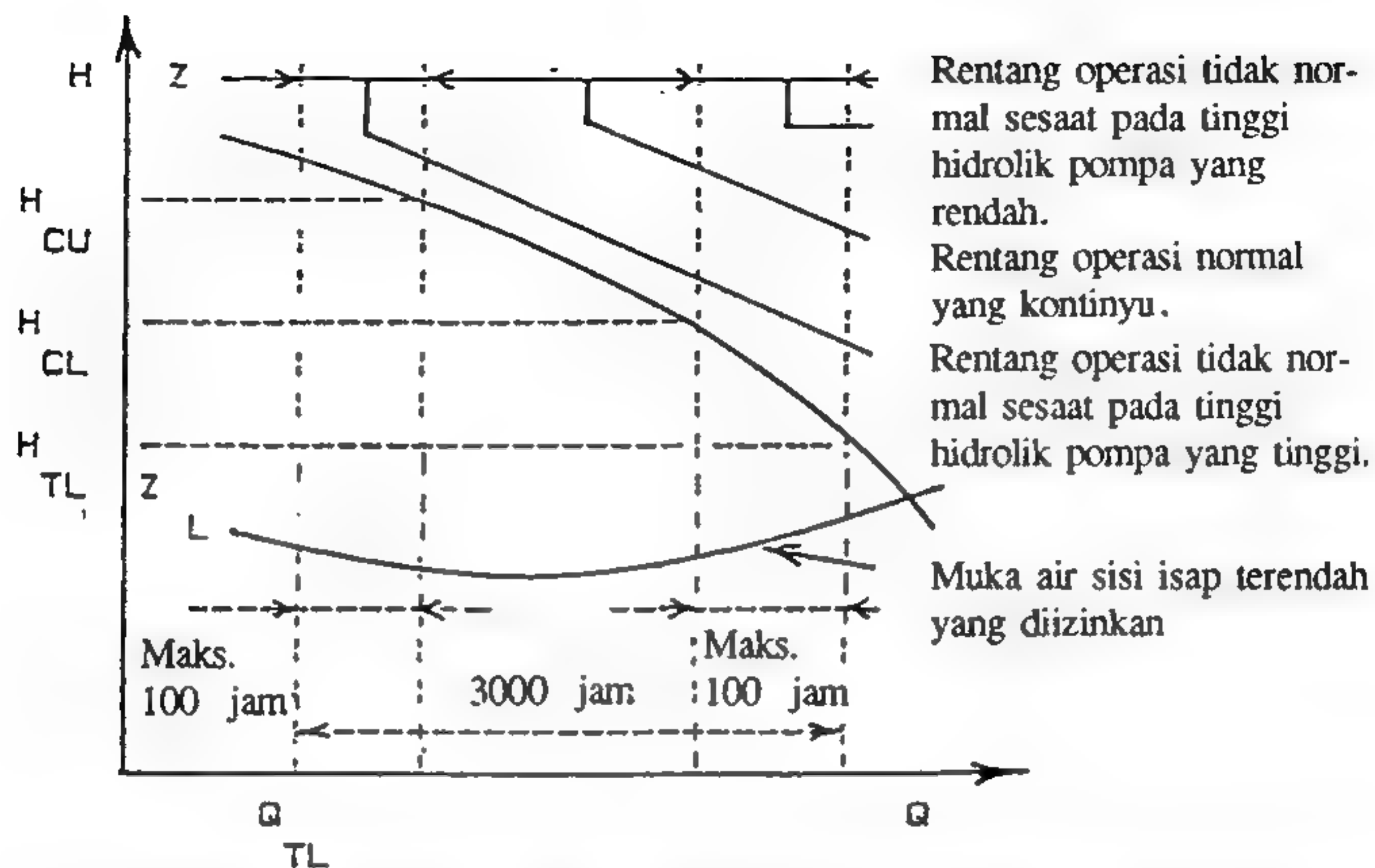
2.2.29	kw	Koefisien yang digunakan dalam perhitungan jam kerja sebagaimana dinyatakan dalam sub ayat 10.3.4.
2.2.30	$C_R$ (cm, $\text{cm}^2$ , $\text{cm}^3$ )	Batas dari besaran lubang kavitasi yang digaransi untuk jangka waktu operasi referensi.
2.2.31	$C_A$ (cm, $\text{cm}^2$ , $\text{cm}^3$ )	Batas dari besaran lubang kavitasi yang digaransi pada waktu pemeriksaan lubang kavitasi.
2.2.32	D (m)	Batas dari besaran lubang kavitasi yang digaransi pada waktu pemeriksaan lubang kavitasi.



Gambar 2. Rentang operasi untuk turbin







**Gambar 3. Rentang operasi pompa penyimpan dan turbin-pompa selama operasi pemompaan.**

Untuk jumlah jam pengoperasian, lihat ayat 8.

Bentuk kurva yang diperlihatkan pada gambar di atas hanya merupakan petunjuk. Khususnya kurva air bawah terendah mungkin berbeda dari contoh dan dalam beberapa hal dapat menyertakan kurva tersendiri yang berhubungan dengan  $P_{CU}$ ,  $P_{TL}$ , dan beban menengah.

### 3 SIFAT DAN LINGKUP GARANSI LUBANGAN KAVITASI

#### 3.1 Masa Garansi

Kecuali bila ada persetujuan lain, masa garansi kavitasi atau jangka waktu berlakunya garansi kavitasi harus sama dengan yang disetujui di dalam kontrak untuk mesin hidrolik sebagai keseluruhan.

#### 3.2 Definisi Besaran Lubangan Kavitasi

Kontrak harus mencakup ketentuan-ketentuan yang mengatur:

- besaran lubang kavitasi yang tidak boleh dilampaui selama jangka waktu operasi referensi yang disetujui yang ditentukan sesuai dengan ayat 8.1.
- metoda pengukuran dan perhitungan yang harus dipergunakan untuk memeriksa pemenuhan garansi sesuai dengan ayat 10.

Besaran lubang kavitasi yang digaransi dapat menyangkut suatu pembatasan apakah mengenai kedalaman maksimum  $S$  (sebagaimana didefinisikan dalam ayat 5.22) atau mengenai luas  $A$  (sebagaimana didefinisikan dalam ayat 5.23 dengan masing-masing alternatif a), b) dan c) seperti yang ditetapkan) atau mengenai volume yang hilang  $V$  (sebagaimana didefinisikan dalam ayat 5.24) atau menyangkut suatu pembatasan dari dua atau ketiga besaran itu.



Kemungkinan lain, garansi dapat menyangkut apakah suatu pembatasan mengenai jumlah elektroda las yang diperlukan untuk perbaikan dari kerusakan lubang kavitasi (sebagaimana didefinisikan dalam ayat 5.26) atau suatu pembatasan dari jumlah jam kerja yang diperlukan untuk perbaikan kerusakan lubang kavitasi itu (sebagaimana didefinisikan dalam ayat 5.28) di mana kedua pembatasan ini dapat dikaitkan dengan suatu batasan garansi V yang membatasi garansi seperti ditunjukkan dalam sub ayat 10.3.3 huruf a) dan b) dan sub ayat 10.3.4.

### 3.3 Rentang Operasi dan Jangka Waktu Operasi

Supaya dapat menetapkan suatu garansi lubang kavitasi dan memeriksa apakah garansi itu telah dipenuhi atau tidak, adalah perlu untuk menetapkan secara teliti rentang operasi mesin yang diperkenankan menurut tinggi hidrolis, keluaran dan muka air bawah atau muka air sisi isap (lihat gambar 2 dan 3 hal. 9) bersamaan dengan jangka waktu operasi referensi yang bersangkutan. Keluaran, tinggi hidrolis, muka air bawah, atau muka air sisi isap dan jam operasi selama masa garansi harus dicatat. Pemasok harus diberi kesempatan untuk memeriksa apakah syarat-syarat yang disetujui telah dipenuhi.

#### 3.3.1 Jangka Waktu Operasi Referensi

Kecuali jika ada persetujuan lain, jangka waktu operasi referensi berikut (tidak tergantung dari masa garansi) harus dipergunakan sebagai dasar untuk menetapkan dan memeriksa garansi lubang kavitasi:

- a). Untuk mesin-mesin yang beroperasi dengan faktor beban tinggi seperti misalnya turbin beban dasar: 8000 jam operasi.
- b). Untuk mesin-mesin yang beroperasi dengan faktor beban rendah seperti misalnya turbin beban puncak, pompa penyimpanan, turbin-pompa selama operasi pemompaan: 3000 jam operasi.

#### 3.3.2 Jangka Waktu Operasi Sesungguhnya

Seluruh jangka waktu operasi hingga saat pemeriksaan lubang kavitasi harus diambil dari catatan operasi. Dari catatan operasi tersebut harus dipisahkan antara rentang normal yang kontinyu dengan rentang operasi tidak normal sesaat untuk beban yang tinggi dan rendah.

Kecuali jika ada persetujuan lain, garansi kavitasi tidak berlaku jika dalam jangka waktu operasi sesungguhnya, jangka waktu operasi berikut dilampaui:

- a). Untuk turbin:
  - pada beban turbin yang tinggi tidak normal sesaat seperti diuraikan pada ayat 5.18 yaitu pada waktu 100 jam kerja.
  - pada beban turbin yang rendah tidak normal sesaat seperti diuraikan pada ayat 5.19 yaitu pada waktu 500 jam kerja.
- b). Untuk pompa penyimpanan dan turbin-pompa selama bekerja:
  - pada tinggi hidrolis pompa yang rendah tidak normal sesaat seperti diuraikan pada ayat 5.20 yaitu waktu 100 jam kerja.
  - pada tinggi hidrolis pompa yang tinggi tidak normal sesaat seperti diuraikan pada ayat 5.21 yaitu waktu 100 jam kerja.

#### 3.3.3 Kondisi Khusus

Waktu yang diperlukan untuk menghidupkan dan mematikan mesin hidrolis, harus diperhitungkan dalam jangka waktu sesungguhnya.

Operasi turbin di bawah P atau operasi pompa di bawah Q harus dibatasi sampai tahap menghidupkan dan mematikan. Waktu selama mesin hidrolis beroperasi dengan raner atau impeler tanpa air tidak diperhitungkan dalam jangka waktu





operasi sesungguhnya.

Operasi turbin dengan sudu raner dan sudu atur yang dapat bergerak di luar kombinasi sementara atau akhir, dipasang oleh pemasok untuk rentang tinggi hidrolik berdasarkan kontrak, memerlukan persetujuan khusus. Pemasok wajib menguji dan mengatur kombinasi sementara dalam waktu yang wajar sebagaimana ditetapkan dalam perjanjian bersama.

Turbin-pompa dengan sudu atur yang dapat bergerak harus dioperasikan sebagai pompa pada bukaan sudu atur yang ditentukan sesuai dengan tinggi hidrolik, jika garansi kavitasi harus tetap berlaku.

#### **4 PROSEDUR UJI**

##### **4.1 Perbaikan Lubangan Kavitasi Sebelum Waktunya**

Pemasok harus dimungkinkan untuk mendapat kesempatan memeriksa mesin sesudah suatu waktu operasi yang cukup lama sesuai persetujuan bersama dengan pemakai dan melaksanakan semua pekerjaan yang dianggap perlu dalam batas waktu yang telah disetujui. Jika sebelum masa garansi berakhir, pemasok membuat banyak perbaikan terhadap kerusakan lubang kavitasi dan/atau membuat perubahan bentuk dari komponen-komponen yang dapat menyebabkan resiko terhadap kavitasi, maka jangka waktu operasi sesungguhnya seperti ditetapkan dalam ayat 5.7 yang memberikan dasar bagi pengkajian terhadap tingkat lubang kavitasi harus dihitung mulai dari waktu mesin dioperasikan kembali dan masa garansi kavitasi jika diperlukan dapat diperpanjang sebagaimana mestinya. Jika perbaikan atau perubahan tersebut sifatnya ringan, maka atas persetujuan kedua belah pihak masa garansi kavitasi dapat dianggap tidak terputus.

##### **4.2 Pengukuran dan Perhitungan Besaran Lubangan Kavitasi**

Kecuali jika ada persetujuan lain pengukuran dan besaran lubang kavitasi dilakukan bersama oleh pemakai dan pemasok, dan jika besaran lubang kavitasi diukur untuk maksud pemeriksaan pemenuhan garansi, pemakai dan pemasok harus melakukan pengukuran tersebut secara bersama. Pemeriksaan tersebut harus dilakukan sebelum berakhirnya masa garansi kavitasi atau garansi terhadap jangka waktu operasi yang ditetapkan dalam kontrak.

Sebelum dilakukan pengukuran tentang kedalamannya maka titik-titik pengukuran untuk mendapatkan S harus dibersihkan sampai bahan yang asli. Sebelum dilakukan pengukuran luas atau volume, semua bagian yang rusak oleh kavitasi harus dibersihkan secara hati-hati atau atas persetujuan sebelumnya, digerinda untuk persiapan pengelasan.

##### **4.2.1 Kedalaman maksimum dari daerah lubang harus ditentukan dengan memakai alat ukur kedalaman, dan dengan menggunakan mal atau alat lain yang sesuai yang bertumpu pada pemeriksaan bagian mesin dalam peninjauan yang tidak rusak menghasilkan kontur aslinya kembali dari daerah tersebut dengan ketepatan yang memadai dari bagian yang telah kehilangan bahan. Ketidak-telitian pengukuran tidak boleh melampaui lebih kurang 10% dari kedalaman maksimum atau 1 mm.**

##### **4.2.2 Masing-masing daerah kerusakan sebaiknya digambar, menggunakan cat yang sesuai khususnya jika konturnya adalah tidak berketentuan dan jika daerahnya melengkung arah tiga dimensi dan dipindahkan ke suatu kertas yang kaku dengan cara menempelkannya. Luas daerah yang tergambar di kertas dapat ditentukan dengan planimeter atau, jika yang digunakan adalah kertas milimeter dengan**



menghitung jumlah luas segi empatnya.

Ketidaktelitian pengukuran tidak boleh melampaui lebih kurang 10%.

- 4.2.3 Kehilangan bahan harus dihitung dengan cara yang konsisten dengan garansinya, sebagai berikut:

- 4.2.3.1 dengan pengukuran langsung dari volume suatu plastik pengisi yang diperlukan untuk mengembalikan bentuk permukaan asli yang tidak rusak. Pada kejadian kerusakan karena kavitasi yang terjadi di daerah-daerah yang melengkung ke arah tiga dimensi, bentuk dan permukaan harus diperiksa dengan memakai mal atau alat lain yang sesuai.

Ketidaktelitian pengukuran tidak boleh melampaui lebih kurang 15%.

- 4.2.3.2 dengan perhitungan pendekatan, kecuali jika disetujui cara lain, boleh dilakukan dengan salah satu dari rumus:

$$V = \sum_1 (k_1 \cdot S_1 \cdot A_2 + k_2 \cdot S_2 \cdot A + \dots) \quad \text{atau}$$

$$V = k \cdot \sum (S_1 \cdot A_1 + S_2 \cdot A_2 + \dots)$$

dimana harga dari  $K_1, k_2 \dots$  atau  $k$  boleh dipilih berdasarkan kesepakatan bersama tergantung pada bentuk dari daerah lubang, atau dengan rumus yang disederhanakan.

$$V = 0,5 \cdot S \cdot A$$

- 4.2.3.3 a). atas dasar dari massa netto dari bahan elektroda las yang diperlukan untuk pekerjaan perbaikan dengan mengizinkan bahan yang terbuang sewaktu pengerindaan akhir.

Pengurangan diizinkan sampai 30% atau lebih, tergantung pada bentuk dari kerusakan yang harus diperbaiki.

Jika kontrak tidak memuat persyaratan yang bertentangan, maka  $m$  boleh dihitung dengan menggunakan rumus:

$$m_{E1} = \rho_{E1} \cdot V$$

dimana  $\rho_{E1}$  adalah kerapatan bahan elektroda dan  $V$  adalah volume material yang hilang oleh kavitasi sebagaimana didefinisikan dalam ayat 5.24.

Bila elektroda-elektroda berlapis dipergunakan maka massa dari lapisan tak aktif harus tidak diperhitungkan.

- b) berdasarkan massa netto elektroda las yang dipergunakan untuk pekerjaan reparasi, termasuk jumlah bahan yang hilang selama pengerindaan akhir. Jika kontrak tidak memuat persyaratan yang bertentangan maka massa  $m$ , maka boleh dihitung dengan menggunakan rumus:

$$m_{E1} = \left(1 + \frac{0,6}{S}\right) \rho_{E1} \cdot V$$





di mana  $\rho_{El}$  adalah kerapatan bahan elektroda,  $S$  adalah kedalaman maksimum dan  $V$  adalah volume bahan yang hilang oleh kavitasi, sebagaimana didefinisikan dalam ayat 5.24.

Rumus ini didasarkan asumsi suatu ketebalan rata-rata bahan elektroda yang hilang oleh penggerindaan 3 mm dan digambarkan dalam gambar 4.

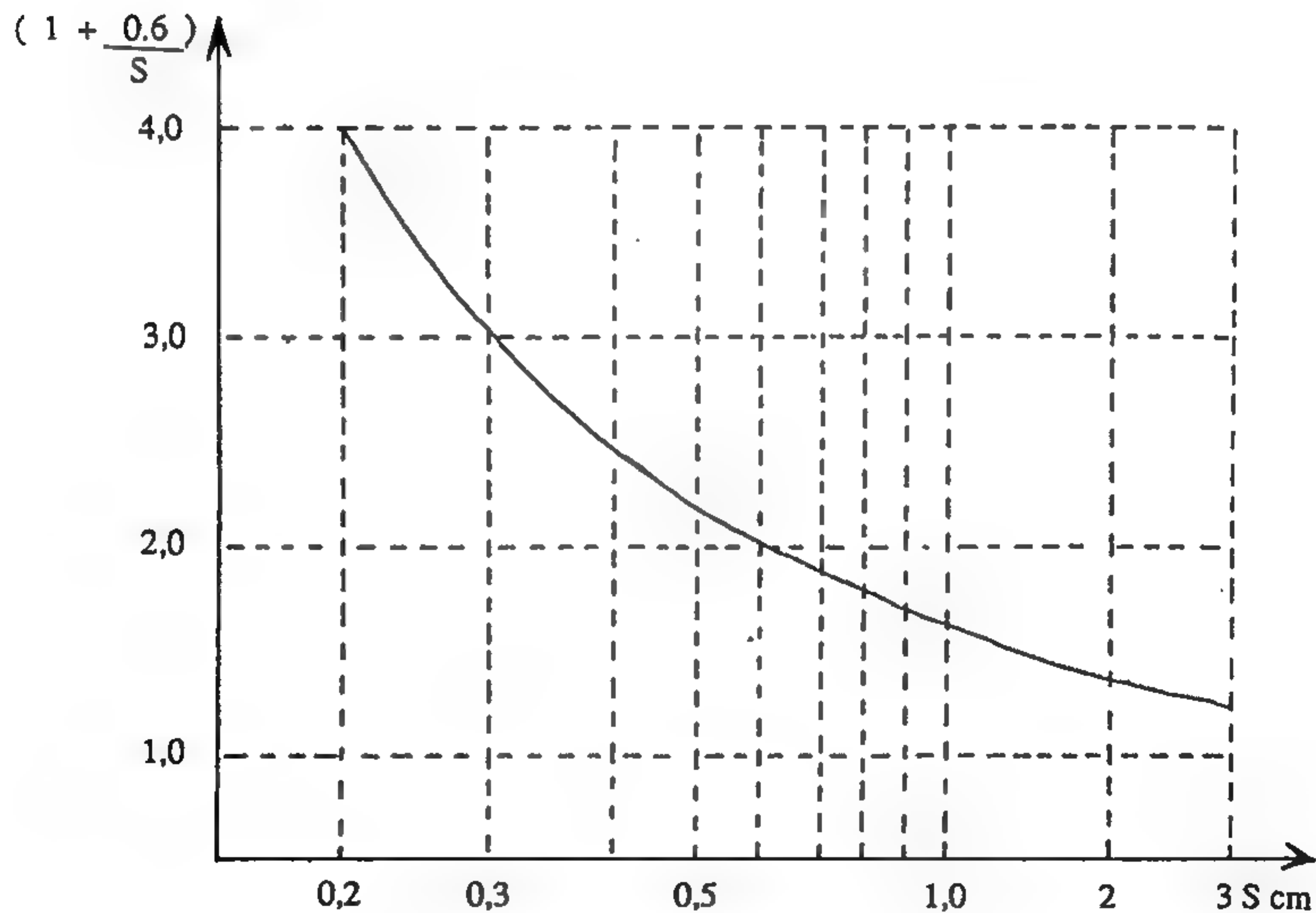
Bila elektroda berlapis dipergunakan maka massa dari lapisan tidak aktif harus tidak diperhitungkan.

- 4.2.3.4 Berdasarkan jam kerja yang diperlukan untuk reparasi kerusakan kavitasi. Jika kontrak tidak memuat persyaratan yang bertentangan, maka jumlah jam kerja  $t_w$ , boleh dihitung dengan menggunakan rumus:

$$t_w = \frac{kW}{D} V$$

di mana  $D$  adalah diameter raner/impeler dan  $V$  adalah volume bahan yang hilang oleh kavitasi, yang kedua-duanya didefinisikan dalam ayat 5.

Harga  $k_w$  boleh dipilih dengan persetujuan kedua belah pihak antara pemakai dan pemasok.



Gambar 4. Perhitungan massa netto dari elektroda las yang diperlukan untuk kerja perbaikan.



## 5 HASIL PERHITUNGAN

### 5.1 Pemenuhan Garansi

Garansi dari lubang kavitasi telah dipenuhi bila sesudah masa operasi yang telah disetujui berdasarkan pasal 8, jumlah/banyaknya lubang kavitasi diukur (dengan memberikan pertimbangan kepada ketidaktepatan pengukuran) pada bagian mesin hidrolik yang ditinjau tidak melebihi harga yang telah ditentukan sesuai dengan ayat 7 yang dikoreksi dengan menggunakan rumus:

$$C_A = C_R \cdot \frac{t_A}{t_R}$$

dimana:

$C_A$  = batas garansi besaran lubang kavitasi pada pemeriksaan lubang kavitasi.

$C$  = batas garansi besaran lubang kavitasi untuk jangka waktu operasi referensi.

$t_A$  = lama operasi sesungguhnya sebagian ditentukan pada ayat 5.7.

$t_R$  = referensi lama operasi sebagai ditentukan pada ayat 5.6.

Penyimpangan antara masa operasi sesungguhnya pada saat pemeriksaan masa operasi untuk referensi hendaknya sekecil mungkin. Rentang penyimpangan yang diizinkan harus disetujui bersama dalam kontrak. Jumlah lubang kavitasi akan ditentukan dengan menggunakan metoda pengukuran yang diuraikan pada ayat 10. Metoda pengukuran yang dipilih harus ditetapkan dalam kontrak.

Bila digaransi tidak akan terjadi lubang kavitasi pada semua rentang operasi yang mungkin seperti ditentukan dalam kontrak, maka garansi tidak dipenuhi jika lubang terjadi selama operasi dan jika lubang tersebut jelas diakibatkan oleh kavitasi.



## APENDIKS A

### CONTOH BESARAN LUBANGAN KAVITASI

Sebagai contoh, diagram-diagram yang dibuat berdasarkan pengalaman seperti pada halaman 19 menunjukkan rentangan-rentangan di mana harga kedalaman maksimum  $S$  dalam sentimeter, luas  $A$  dalam sentimeter persegi dan volume  $V$  dalam sentimeter kubik dapat dipilih untuk raner dari segala jenis mesin, kecuali turbin Pelton, setiap bahan yang lazim digunakan seperti baja tuang, baja tahan karat atau baja tuang dengan lapisan luar baja tahan karat dan untuk salah satu dari dua referensi waktu pengoperasian (8000 jam beban dasar atau 3000 jam beban puncak).

Besaran-besaran yang ditunjukkan didasarkan pada konsep besarnya perbaikan yang layak dan diperlukan sesudah 2 tahun masa operasi tanpa memperhatikan katagori di atas.

Perlu diingat bahwa harga-harga tersebut di atas hanyalah sebagai contoh dan akan timbul kasus-kasus di mana harga yang dipilih dapat lebih besar atau lebih kecil tergantung dari kondisi-kondisi yang khusus.

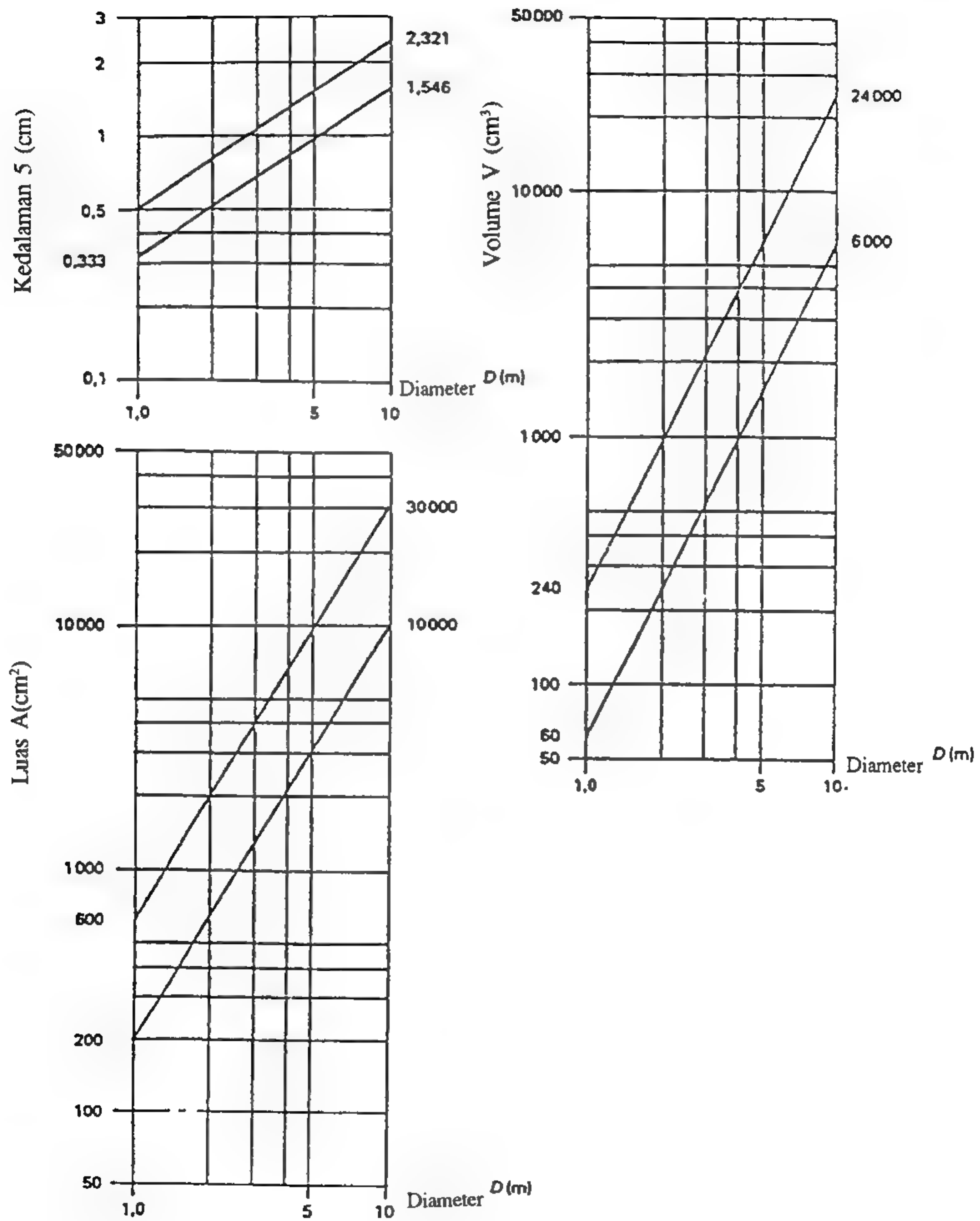
Selanjutnya perlu perhatian khusus untuk raner dengan diameter lebih besar dari enam meter, karena kurangnya pengalaman untuk ukuran semacam itu dan karena konsekuensi teknis dan ekonomis yang relatif lebih besar terhadap lubang kavitasi pada mesin-mesin yang besar.

Jika besaran lubang kavitasi yang harus digaransi ditentukan oleh pemakai, maka penempatan mesin harus diusulkan oleh pemasok. Sebaliknya jika penempatan mesin ditentukan oleh pemakai, maka besaran lubang kavitasi yang harus digaransi harus diusulkan oleh pemasok (periksa pula Bab 1 dari standar ini). Untuk cincin tenggorok dan lapisan pipa lepas turbin Kaplan dan Propeler, harga kedalaman  $S$  yang sama, dan setengah dari harga luas  $A$  dan setengah volume  $V$  dapat dipakai.

Diagram-diagram ini tidak berlaku bagi turbin Pelton; turbin ini biasanya tidak terkena lubang kavitasi, tetapi bila kondisi operasi terlalu ekstrim sehingga mungkin terjadi lubang, maka hal itu harus diperlakukan sebagai kasus yang khusus.



## CONTOH DARI BESARAN AKIBAT LUBANGAN KAVITASI







**DAFTAR ISTILAH**

cavitation pitting	=	lubangan kavitasi
contour	=	kontur
crackfreewelding	=	pengelasan bebas retak
customer	=	pemakai
draught tube	=	pipa lepas
guide vane	=	sudu - atur
operating range	=	rentang operasi
permissible suction water level	=	muka air sisi isap yang diizinkan
permissible tailwater level	=	muka air bawah yang diizinkan
plant	=	instalasi
pump-turbines	=	turbin-pompa
runner blade	=	sudu raner
scaffolding	=	perancah
storage pump	=	pompa penyimpanan
supplier	=	pemasok
template	=	mal
tip diameter	=	diameter luar
vapour bubbles	=	gelombang uap
vapour pressure	=	tekanan uap



**Nomor : 0376 K/098/M.PE/1987**

**Nomor : 0376 K/098/M.PE/1987**

**Mengingat :**

1. Undang-undang Nomor 15 tahun 1985 (Lembaran Negara Republik Indonesia tahun 1985 Nomor 74);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 36 tahun 1979;
3. Keputusan Presiden Nomor 54/M tahun 1983;
4. Keputusan Presiden Nomor 15 tahun 1984;
5. Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 02/P/M/Pertamben/1983.

**Kedua .....**



**KEDUA** Ketentuan mengenai penerapan Standar Listrik Indonesia (SLI) sebagaimana dimaksud dalam diktum PERTAMA Keputusan ini diatur lebih lanjut oleh Direktur Jenderal Listrik dan Energi Baru.

**KETIGA** : Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di : J A K A R T A  
pada tanggal : 12 Mei 1987

---

MENTERI PERTAMBANGAN DAN ENERGI

td.

**S U B R O T O**

**SALINAN** Keputusan ini disampaikan kepada Yth.

1. Para Menteri Kabinet Pembangunan IV;
2. Ketua Dewan Standardisasi Nasional;
3. Pimpinan Lembaga Pemerintah Non Departemen;
4. Sekretaris Jenderal Departemen Pertambangan dan Energi;
5. Direktur Jenderal Listrik dan Energi Baru, Dep. Pertambangan dan Energi;
6. Pimpinan Badan Usaha Milik Negara;
7. Ketua KADIN;
8. Kepala Biro Pusat Statistik;
9. Arsip.



**LAMPIRAN KEPUTUSAN MENTERI PERTAMBANGAN DAN ENERGI**  
**NOMOR : 0376 K/098/M.PE/1987**  
**TANGGAL : 12 Mei 1987**

NO.	STANDAR-STANDAR KELISTRIKAN	DAFTAR STANDAR LISTRIK INDONESIA	(SLI)
		NAMA SLI	CODE/NOMOR SLI
(1)	(2)	(3)	(4)
1.	Standar Meter kWh Pasangan Luar	Standar Meter kWh Pasangan Luar	SLI 025 - 1986 a. 013
2.	Syarat Umum Instrumen Ukur Listrik Penunjuk Langsung Analog dan Lengkapan	Syarat Umum Instrumen Ukur Listrik Penunjuk Langsung Analog dan Lengkapan	SLI 026 - 1986 a. 0014
3.	Syarat Khusus Meter Watt dan Varh Penunjuk Langsung Analog dan Lengkapan	Syarat Khusus Meter Watt dan Varh Penunjuk Langsung Analog dan Lengkapan	SLI 027 - 1986 a. 015
4.	Syarat Khusus Meter Ampere dan Meter Volt	Syarat Khusus Meter Ampere dan Meter Volt	SLI 028 - 1986 a. 016
5.	Syarat Khusus bagi Meter Fase, Meter Faktor Daya dan Sinkroskop Penunjuk Langsung Analog dan Lengkapan	Syarat Khusus bagi Meter Fase, Meter Faktor Daya dan Sinkroskop Penunjuk Langsung Analog dan Lengkapan	SLI 029 - 1986 a. 017
6.	Konduktor Tembaga Telanjang Jenis Keras (BCCH)	Konduktor Tembaga Telanjang Jenis Keras (BCCH)	SLI 030 - 1986 a. 018
7.	Konduktor Tembaga Setengah Keras (BCC 1/2 H)	Konduktor Tembaga Setengah Keras (BCC 1/2 H)	SLI 031 - 1986 a. 019
8.	Konduktor Aluminium Melulu (AAC)	Konduktor Aluminium Melulu (AAC)	SLI 032 - 1986 a. 020
9.	Konduktor Aluminium Campuran (AAAC)	Konduktor Aluminium Campuran (AAAC)	SLI 033 - 1986 a. 021
10.	Karakteristik Isolator keramik Tegangan Rendah Jenis, Pin, Penegang dan Penarik.	Karakteristik Isolator Keramik Tegangan Rendah Jenis, Pin, Penegang dan Penarik	SLI 034 - 1986 a. 022
11.	Karakteristik Unit Isolator Renteng jenis Kap dan Pin	Karakteristik Unit Isolator Renteng jenis Kap dan Pin	SLI 035 - 1986 a. 023





NO.	STANDAR-STANDAR KELISTRIKAN.	DAFTAR STANDAR LISTRIK INDONESIA	(SLI)
		NAMA SLI	CODE/NOMOR SLI
12.	Tegangan Standar	Tegangan Standar	<u>SLI 036 - 1986</u> a. 023
13.	Pipa Untuk Instalasi Listrik, Persyaratan Umum	Pipa Untuk Instalasi Listrik, Persyaratan Umum	<u>SLI 037 - 1986</u> a. 024
14.	Pipa Untuk Instalasi Listrik, Spesifikasi Khusus Untuk Pipa Isolasi Kaku Rata	Pipa Untuk Instalasi Listrik, Spesifikasi Khusus Untuk Pipa Isolasi Kaku Rata	<u>SLI 038 - 1986</u> a. 025
15.	Pipa Untuk Instalasi Listrik, Spesifikasi Khusus Untuk Pipa Logam	Pipa Untuk Instalasi Listrik, Spesifikasi Khusus Untuk Pipa Logam	<u>SLI 039 - 1986</u> a. 026
16.	Klasifikasi Tingkat Perlindungan Selungkup Untuk Mesin Listrik Berputar	Klasifikasi Tingkat Perlindungan Selungkup Untuk Mesin Listrik Berputar	<u>SLI 040 - 1986</u> a. 027
17.	Persyaratan Keamanan Lampu Berfilamen Tungsten Untuk Pe- nerangan Rumah Tangga dan Penerangan Umum yang sejenis.	Persyaratan Keamanan Lampu Berfilamen Tungsten Untuk Pe- nerangan Rumah Tangga dan Penerangan Umum yang sejenis	<u>SLI 041 - 1986</u> m. 002
18.	Keandalan Sistem Distribusi	Keandalan Sistem Distribusi	<u>SLI 042 - 1986</u> s. 012
19.	Evaluasi Lubangan Kavitas Pada Turbin Air, Pompa Pe- nyimpan dan Turbin Pompa	Evaluasi Lubangan Kavitas Pada Turbin Air, Pompa Penyimpan dan Turbin Pompa	<u>SLI 043 - 1986</u> a. 028
20.	Standar Listrik Pedesaan	Standar Listrik Pedesaan	<u>SLI 044 - 1986</u> s. 013
21.	Kabel Pemanas Berisolasi Karet	Kabel Pemanas Berisolasi Karet	<u>SLI 045 - 1986</u> a. 029
22.	Kabel Lampu Gantung Ber- isolasi Karet	Kabel Lampu Gantung Ber- isolasi Karet	<u>SLI 046 - 1986</u> a. 030
23.	Kawat Tembaga Lunak Penam- pang Bulat Untuk Kumparan (MA)	Kawat Tembaga Lunak Penam- pang Bulat Untuk Kumparan (MA)	<u>SLI 047 - 1986</u> a. 031
24.	Kawat Tembaga Penampang Bu- lat Email Oleo - Resinous (EW)	Kawat Tembaga Penampang Bu- lat Email Oleo - Resinous (EW)	<u>SLI 048 - 1986</u> a. 032



NO.	STANDAR-STANDAR KELISTRIKAN	DAFTAR STANDAR LISTRIK INDONESIA	(SLI)
		NAMA SLI	CODE/NOMOR SLI
25.	Kawat Tembaga Penampang Bulat Email Polyester	Kawat Tembaga Penampang Bulat Email Polyester	SLI 049 - 1986 a. 033
26.	Kawat Tembaga Penampang Bulat Lunak Formal (PVF) Email Polyvinyl	Kawat Tembaga Penampang Bulat Lunak Formal (PVF) Email Polyvinyl	SLI 050 - 1986 a. 034
27.	Kawat Tembaga Email Polyurethane Penampang Bulat	Kawat Tembaga Email Polyurethane Penampang Bulat	SLI 051 - 1986 a. 035
28.	Kawat Tembaga Penampang Bulat Email Polyester Imide (EIW)	Kawat Tembaga Penampang Bulat Email Polyester Imide (EIW)	SLI 052 - 1986 a. 036
29.	Persyaratan Kompon Karet Untuk Isolasi dan Selubung Kabel Listrik	Persyaratan Kompon Karet Untuk Isolasi dan Selubung Kabel Listrik	SLI 053 - 1986 a. 037
30.	Persyaratan Kompon XPLE Untuk Kabel Listrik Tegangan Nominal dari 1 kV sampai dengan 30 kV	Persyaratan Kompon XPLE Untuk Kabel Listrik Tegangan Nominal dari 1 kV sampai dengan 30 kV	SLI 054 - 1986 a. 038
31.	Persyaratan Kompon PVC Untuk Isolasi dan Selubung Kabel Listrik	Persyaratan Kompon PVC Untuk Isolasi dan Selubung Kabel Listrik	SLI 055 - 1986 a. 039
32.	Persyaratan Penghantar Tembaga dan Aluminium Untuk Kabel Listrik Berisolasi	Persyaratan Penghantar Tembaga dan Aluminium Untuk Kabel Listrik Berisolasi	SLI 056 - 1986 a. 040
33.	Metode Uji Kawat Kumparan bagian I Kawat Email Berpenampang Bulat	Metode Uji Kawat Kumparan bagian I Kawat Email Berpenampang Bulat	SLI 057 - 1986 a. 041

MENTERI PERTAMBANGAN DAN ENERGI

ttd.

SUBROTO











**SNI 04-1706-1989 (N)**

Lubang kavitasi pada turbin air, pompa penyimpanan dan turbin pompa, Evaluasi

Tgl. Pinjaman	Tgl. Harus Kembali	Nama Peminjam



**PERPUSTAKAAN**



